

# Магнитоэлектрический эффект в слоистых симметричных и асимметричных структурах для применения в устройствах измерения магнитных полей

Соловьев Артем Игоревич

Киселев Виктор Александрович, Леонтьев Виктор Сергеевич

Новгородский государственный университет имени Ярослава Мудрого

Петров Роман Валерьевич, д.ф.-м.н.

[JerseyB@yandex.ru](mailto:JerseyB@yandex.ru)

В настоящее время проводится множество исследований и разработок композитных структур на основе магнитоэлектрического эффекта (МЭ), представляющего собой взаимодействие соединенных между собой механической связью пьезоэлектрической и магнитострикционной фаз под действием внешнего магнитного поля [1,2]. Развитие МЭ структур и улучшение их параметров позволяет получить новые решения для разработок высокочувствительных устройств измерения магнитных полей.

Рассматриваемые структуры, показанные на рис.1, представляют собой слоистые симметричные и асимметричные сборки размером  $10 \times 1 \times 0,7$  мм из композитных материалов пьезоэлектрика ЦТС-19 и магнитострикционного материала метгласа, соединенных между собой тонким слоем клея.

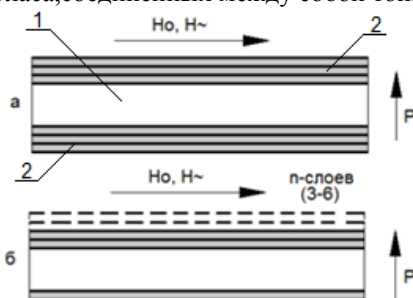


рис.1. Конструкции магниточувствительных структур: а - симметричная структура 3-3 (слоев между пьезоэлектриком); б - асимметричная структура n-1; Стрелками указано направление постоянного и переменного магнитных полей и направление поляризации.

1 - пьезоэлектрик ЦТС-19, 2 - обкладки Метгласа.

В общем случае оценить величину МЭ эффекта, основного параметра, определяющего эффективность МЭ структуры, можно по следующей формуле:

$$\alpha_{ME} \sim \frac{d \cdot q}{\varepsilon} \quad (1)$$

где  $d$  – пьезоэлектрический модуль,  $q$  – пьезомагнитный коэффициент,  $\varepsilon$  – относительная диэлектрическая проницаемость.

Величина пьезомагнитного коэффициента зависит от константы магнитострикции:

$$q = \frac{\delta \lambda}{\delta H} \quad (2)$$

Применение композитных материалов фаз для МЭ структур с высокими значениями магнитострикции  $\lambda$  (метглас, никель, пермендюр) и большим пьезомодулем  $d$  (цирконат-титанат свинца, лангитат, магниониобат-титанат свинца и другие) позволяет получить высокие значения магнитоэлектрического коэффициента по напряжению  $\alpha E \sim 0,5-0,9 \text{ В}/(\text{см} \cdot \text{Э})$  в симметричных структурах на низких частотах [3].

Дальнейшее увеличение МЭ эффекта в композитных структурах можно получить, возбуждая образец переменным магнитным полем, частота которого совпадает с частотой собственных акустических колебаний МЭ структуры. При таком возбуждении структура переходит в низкочастотный резонансный режим, при котором существенно увеличивается МЭ коэффициент. Особенностью данного режима является то, что он наиболее сильно проявляется в асимметричных структурах. На рис.2 показаны сравнительные выходные характеристики симметричной структуры 3-3 и асимметричной структуры 6-1.

Полученное выходное напряжение 795 мВ в области насыщения асимметричной структуры 6-1 значительно превосходит по параметрам симметричную структуру 3-3, выходное напряжение которой в ходе измерений составило 525 мВ. Магнитоэлектрический коэффициент по напряжению в асимметричных структурах в режиме низкочастотного резонанса достигает  $\alpha E \sim 1 - 1,2 \text{ В}/(\text{см} \cdot \text{Э})$ . Данные результаты показывают высокую перспективность использования асимметричных слоистых МЭ структур в разработке высокочувствительных устройств измерений магнитных полей. В рамках полного исследования также

проводится более подробная сравнительная характеристика различных слоистых МЭ структур с целью выявления образца с наилучшими выходными параметрами.

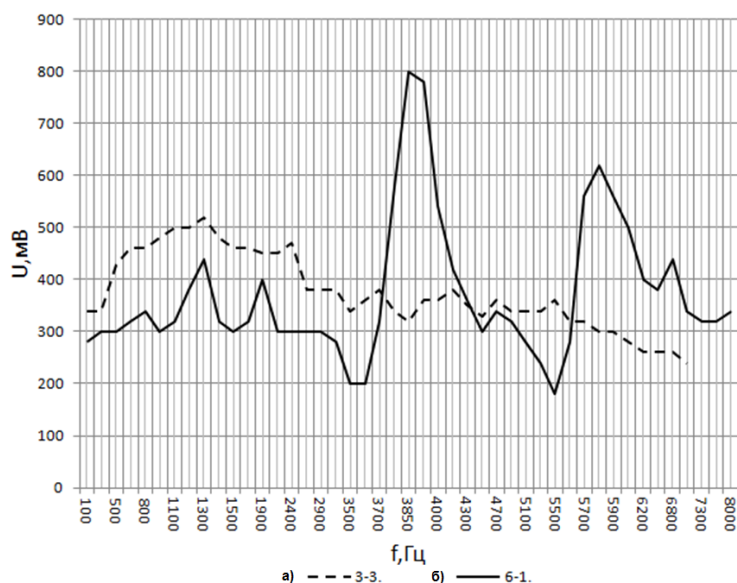


рис.2. График зависимости выходного напряжения от частоты слоистых МЭ структур: симметричная структура 3-3 (слоев между пьезоэлектриком) ; б - асимметричная структура 6-1;

Исследование выполнено при финансовой поддержке ФГБУ Фонд содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере по программе УМНИК

Список публикаций:

- [1] Бичурин М.И., Петров В.М., Филиппов Д.А., Сринивасан Г. Магнитоэлектрический эффект в композиционных материалах. Великий Новгород: Изд-во НовГУ им. Ярослава Мудрого. 2005. 226с.
- [2] M.I. Bichurin, V.M. Petrov, G. Srinivasan. Theory of lowfrequency magnetoelectric effects in ferromagnetic/ferroelectric layered composites. *Journal of Applied Physics*, 2002, vol. 92, no. 12, pp. 7681–7683.
- [3] Р.В. Петров, В.С. Леонтьев. Сравнение характеристик симметричных и асимметричных магнитоэлектрических структур. *Вестн. Новг. гос. ун-та. Сер.: Технические науки*. 2014. № 81. С.76-81. Библиогр. 8 назв.

## Микромагнитный расчет динамики намагниченности вблизи краев тонкой магнитной пленки

**Соловьев Платон Николаевич**

*Изотов Андрей Викторович, Беляев Борис Афанасьевич, Скоморохов Георгий Витальевич*

*Институт физики им. Л.В. Киренского ФИЦ КНЦ СО РАН*

[psolovev@iph.krasn.ru](mailto:psolovev@iph.krasn.ru)

В последние годы нанокристаллические магнитные тонкие пленки привлекают большое внимание исследователей, что связано, в первую очередь, с быстрорастущим технологическим спросом на магнитные материалы с высокой магнитной восприимчивостью [1]. Существует ряд физических и технологических факторов, которые могут привести к существенному снижению магнитной восприимчивости пленки и увеличению ее магнитных шумов, что, очевидно, будет негативно сказываться на рабочих характеристиках устройств, использующих такие пленки в качестве активных сред. Важным источником эффектов, приводящих к снижению магнитной восприимчивости, являются края пленок.

В настоящей работе выполнен численный микромагнитный расчет динамики намагниченности однослойной модели тонкой пленки пермаллоя (10мм×10мм×60нм) с одноосной магнитной анизотропией. Пленка разбивалась на 200×200×1 дискретных элементов. Расчет динамики намагниченности дискретной модели пленки выполнялся решением системы линеаризованных уравнений Ландау-Лифшица [2]. Колебания намагниченности в пленке возбуждались переменным сверхвысокочастотным (СВЧ) магнитным полем (2.3 ГГц) с линейной поляризацией, которое воздействовало лишь на небольшой локальный участок пленки диаметром 1 мм (310 элементов). Анализ результатов показал, что из-за того, что переменное поле воздействует на пленку локально, в пленке, кроме однородного ферромагнитного резонанса (ФМР), возбуждаются дополнительные моды колебания намагниченности (рис. 1). В тоже время, благодаря достаточно высокому